

PAT-NO: JP02000134156A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000134156 A
TITLE: OPTICAL AMPLIFIER FOR WAVELENGTH MULTIPLEX
TRANSMISSION AND OPTICAL WAVE NETWORK DEVICE USING THE SAME
PUBN-DATE: May 12, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

| NAME | COUNTRY |
|------------------|---------|
| KOBAYASHI, IPPEI | N/A |

ASSIGNEE-INFORMATION:

| NAME | COUNTRY |
|----------|---------|
| NEC CORP | N/A |

APPL-NO: JP10304814

APPL-DATE: October 27, 1998

INT-CL (IPC): H04B010/14, H04B010/06 , H04B010/04 , H01S003/063 ,
H04B010/17 , H04B010/16

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress fluctuations in a signal light level of a channel that is continuously transmitted, even in a transient response state by controlling injection current to a stimulation light source so as to maintain a gain from an input and output level of an amplification optical fiber to a prescribed value.

SOLUTION: An optical multiplexer 14 multiplexes a one-channel signal light or a wavelength multiplex signal light of a plurality of channels from the left with a stimulated light from a exciting light source 17, the multiplexed light

is made incident into an erbium-doped optical fiber EDF 1. An EDF output power detection circuit 4 monitors the sum output between an output resulting from the light made incident onto the erbium-doped optical fiber EDF 1 and optically amplified and an output of the EDF 1, resulting from being reflected in a reflector 9 via a variable attenuator 6 and amplified again via the EDF 1. A variable attenuator control circuit 5 automatically controls the level of an attenuation of the variable attenuator 6, so as to make a sum output power constant. Furthermore, an AGC circuit 3 controls the output of the stimulation light source 17, so that the result of monitor of the circuit 4 makes the gain of optical amplification of the EDF 1 constant. Thus, the signal light received by the optical amplifier amplifies the signal by a scheduled gain.

COPYRIGHT: (C) 2000, JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-134156

(P2000-134156A)

(43)公開日 平成12年5月12日(2000.5.12)

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード(参考) |
|--------------------------|------|--------------|-------------|
| H 0 4 B 10/14 | | H 0 4 B 9/00 | S 5 F 0 7 2 |
| 10/06 | | H 0 1 S 3/06 | A 5 K 0 0 2 |
| 10/04 | | H 0 4 B 9/00 | J |
| H 0 1 S 3/063 | | | |
| H 0 4 B 10/17 | | | |

審査請求 有 請求項の数20 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-304814

(22)出願日 平成10年10月27日(1998. 10. 27)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 小林 一平

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH06 JJ05 KK05

KK30 PP07 RR01 YY17

5K002 AA06 BA04 BA21 CA10 CA13

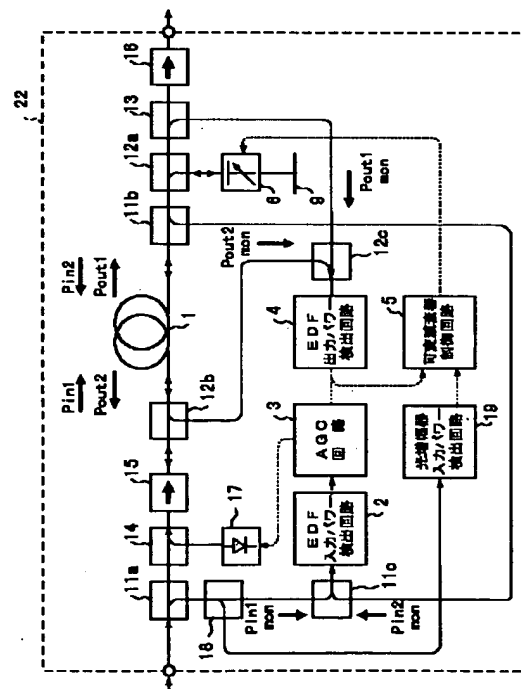
DA02

(54)【発明の名称】 波長多重光伝送用光増幅装置とこれを用いた光波ネットワーク装置

(57)【要約】

【課題】波長多重光伝送においてチャネル数が増加しても各チャネルのレベルが一定に保たれ、過渡応答時にも信号光のレベル変動を来さないようにする。

【解決手段】 増幅用光ファイバ、励起光源、励起光入力用の光合波器とを備え、さらに増幅信号光の一部を分岐して増幅用光ファイバに出力側から逆方向に再入力させる増幅信号光再入力部と、増幅信号光の出力レベルと増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルが予め定められた値となるようにレベルを制御する増幅信号光レベル制御回路と、信号光の入力レベルと分岐増幅信号光の増幅用光ファイバへの再入力前の入力レベルと、増幅信号光の出力レベルと増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の分岐増幅信号光の出力レベルとをそれぞれ検出して、両者から光増幅の利得が予め定められた値に維持されるように制御する利得制御回路とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 1の信号光または互いに異なる複数の波長の光が波長多重された信号光が入力される入力端子と、増幅用光ファイバと、励起光を出力する励起光源と、前記励起光を前記増幅用光ファイバに入力する光合波器とを備え、

前記信号光を光増幅して増幅信号光を出力する波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、前記増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を前記増幅用光ファイバに出力側から逆方向に再入力させる増幅信号光再入力手段と、

前記増幅信号光の出力レベルと、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の前記分岐増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルがあらかじめ定められた値となるように前記分岐増幅信号光のレベルを制御する分岐増幅信号光レベル制御手段と、

前記信号光の入力レベルと、前記分岐増幅信号光の前記増幅用光ファイバへの再入力前の入力レベルとを検出して増幅用光ファイバ入力レベルを出力する増幅用光ファイバ入力パワー検出手段と、

前記増幅信号光の出力レベルと、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の前記分岐増幅信号光の出力レベルを検出して増幅用光ファイバ出力レベルを出力する増幅用光ファイバ出力パワー検出手段と、前記増幅用光ファイバ入力レベルと前記増幅用光ファイバ出力レベルから利得があらかじめ定められた値に維持されるように制御する利得制御手段とを備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項2】 前記利得制御手段は、

前記第1の励起光源への注入電流を制御する第1の注入電流制御手段を備えていることを特徴とする請求項1記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項3】 前記増幅信号光再入力手段は、

前記増幅信号光の一部を分岐して前記分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、減衰量制御信号を受けて前記分岐増幅信号光の減衰量を制御する可変減衰器と、前記可変減衰器を通過した前記分岐増幅信号光を反射させる反射器とを備えていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項4】 前記増幅信号光再入力手段は、

前記増幅信号光の一部を分岐して前記分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、減衰量制御信号を受けて前記分岐増幅信号光の反射率を制御して前記分岐増幅信号光を反射させる可変反射器と、を備えていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項5】 前記増幅信号光再入力手段は、

減衰量制御信号を受けて前記増幅信号光の一部を分岐す

る分岐比を設定して前記分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、

前記分岐増幅信号光を反射させる反射器とを備えていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項6】 前記増幅信号光再入力手段は、

前記増幅信号光の一部を分岐して前記分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、

減衰量制御信号を受けて前記分岐増幅信号光の一部が入力され、該分岐増幅信号光の減衰量を制御する可変減衰器と、

前記増幅用光ファイバの出力側に配置され前記可変減衰器を通過した前記分岐増幅信号光を前記増幅用光ファイバに入力するとともに、前記増幅信号光を伝送路に出力する第1の光サーキュレータとを備えていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項7】 前記分岐増幅信号光レベル制御手段は、

前記増幅信号光の出力レベルと、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の前記分岐増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルがあらかじめ定められた値となるように前記減衰量制御信号を送出する減衰量制御回路を含んでいることを特徴とする請求項3から請求項6までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項8】 前記増幅用光ファイバ入力パワー検出手段は、

前記増幅用光ファイバの入力側に配置され、前記信号光の一部を分岐する第2の光分岐器と、

前記増幅用光ファイバの出力側と前記増幅信号光再入力手段との間に配置され、前記増幅用光ファイバに向かって進行する前記分岐増幅信号光の一部を分岐する第3の光分岐器と、

前記第2の光分岐器と前記第3の光分岐器でそれぞれ分岐された光を結合させる第1の光結合器とを含んでいることを特徴とする請求項1から請求項7までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項9】 前記増幅用光ファイバ出力パワー検出手段は、

前記増幅用光ファイバの出力側に配置され、前記増幅信号光の一部を分岐する第4の光分岐器と、

前記増幅用光ファイバの入力側に配置され、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された前記分岐増幅信号光の一部を分岐する第5の光分岐器と、

前記第4の光分岐器と前記第5の光分岐器でそれぞれ分岐された光を結合させる第2の光結合器とを含んでいることを特徴とする請求項8記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項10】 前記第5の光分岐器に代えて、

前記信号光を前記増幅用光ファイバに出力するととも

に、

前記増幅用光ファイバから出力された前記分岐増幅信号光を前記第2の光結合器に出力する第2の光サーキュレータを含んでいることを特徴とする請求項9記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項11】 請求項9記載の波長多重光伝送用光増幅装置であって、

前記増幅用光ファイバに入力される前記信号光のレベルを P_{in1} とし、

前記増幅用光ファイバから出力される前記増幅信号光のレベルを P_{out1} とし、

前記増幅用光ファイバに入力される前記分岐増幅信号光のレベルを P_{in2} とし、

前記増幅用光ファイバから出力される前記分岐増幅信号光のレベルを P_{out2} としたときに、

前記第2の光分岐器によって分岐される前記信号光のレベル P_{in1} と、

前記第3の光分岐器によって分岐される前記分岐増幅信号光のレベル P_{in2} と、

前記第4の光分岐器によって分岐される前記増幅信号光のレベル P_{out1} と、

前記第5の光分岐器によって分岐される前記分岐増幅信号光のレベル P_{out2} がそれぞれ、

【数1】

$$P_{in1} \cdot P_{in2} \cdot P_{out1} \cdot P_{out2} \\ = P_{in1mon} \cdot P_{in2mon} \cdot P_{out1mon} \cdot P_{out2mon}$$

を満たすことを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項12】 請求項1から請求項11までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、

前記増幅用光ファイバの前段に配置され、信号光の進行方向にのみ光を通過させ逆方向に進行する光を阻止する第1の光アイソレータと、

前記増幅用光ファイバ出力パワー検出手段の後段に配置され、信号光の進行方向にのみ光を通過させ逆方向に進行する光を阻止する第2の光アイソレータとを備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項13】 前記第1の光合波器は、前記増幅用光ファイバの前段に配置されていることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項14】 前記第1の光合波器は、前記増幅用光ファイバの後段に配置されていることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項15】 前記第1の光合波器は、前記第3の光分岐器と前記第2の光結合器との間に配置されていることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅

装置。

【請求項16】 請求項13記載の第1の光合波器に代えて、前記増幅信号光を伝送路に出力するとともに、前記光合波器から出力される前記励起光を前記増幅用光ファイバに出力する第3の光サーキュレータが配置されていることを特徴とする請求項1から請求項11までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項17】 請求項13記載の波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、

第2の励起光を出力する第2の励起光源と、

前記増幅用光ファイバの後段に配置され、前記第2の励起光を前記増幅用光ファイバに入力する第2の光合波器とを備え、

前記利得制御手段は、さらに、

前記第2の励起光源への注入電流を制御する第2の注入電流制御手段を備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項18】 請求項13記載の波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、

第2の励起光を出力する第2の励起光源と、

前記第3の光分岐器と前記第2の光結合器との間に配置され、前記第2の励起光を前記増幅用光ファイバに入力する第2の光合波器とを備え、

前記利得制御手段は、さらに、

前記第2の励起光源への注入電流を制御する第2の注入電流制御手段を備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項19】 請求項13記載の波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、

第2の励起光を出力する第2の励起光源と、

請求項18記載の第3の光分岐器に代えて、前記増幅信号を伝送路に出力するとともに、前記光合波器から出力される前記励起光を前記増幅用光ファイバに出力する第3の光サーキュレータとを備え、

前記利得制御手段は、さらに、

前記第2の励起光源への注入電流を制御する第2の注入電流制御手段を備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【請求項20】 互いに異なる波長の信号光を出力する複数の光送信器と、

前記各信号光を波長多重して波長多重信号光を出力する波長多重化手段と、

前記波長多重信号光から波長を選定して特定の信号光を抽出するとともに、信号光挿入する光挿入抽出手段と、請求項1から請求項19までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅装置とを備えていることを特徴とする光波ネットワーク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、互いに異なる複数

の波長の信号光が波長多重化された波長多重信号光を光増幅する光増幅装置に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重光伝送は、伝送容量の大容量化としてのみならず、各波長をチャネルとして扱い、波長チャネル毎に伝送路に挿入したり、伝送路から分岐できる光ADM (Add Drop Multiplexer) を用いることにより、波長チャネル毎にルートの設定の切替えが可能な光波ネットワークの構築にも適している。しかしながら、このような光波ネットワークにおいては、各ノードにおいて、波長チャネルが挿入、分岐されたり、あるいは信号を伝送している光送信器の数が変化することから、伝送路中の信号光のチャネル数が変化することが起こり得る。このように、伝送路中の信号光のチャネル数が変化すると、連続して伝送され続けるチャネル（以下、「存続チャネル」という。）のレベルが変動を来し、この結果、伝送特性が劣化する、あるいはサージが発生するという問題点が生じる。また、チャネル数の変化による伝送特性の劣化は、波長多重する波長数、すなわち信号光の数が増えるほど顕著になるため、今後の波長多重光伝送において多チャネル化がますます進展すると、上記問題はさらに深刻なものとなる。ここで、上記の光波ネットワークにおける問題点の発生するプロセスについて簡単に説明する。まず、一般的に、光増幅器の基本的な制御方法として、ALC (Automatic Level Control) により光増幅器の励起光源出力を制御して出力を一定とする方法とAGC (Automatic Gain Control) により励起光源出力を制御して利得を一定とする構成とがある。まず最初に、ALCを用いて光増幅器の利得を制御した場合について説明すると、伝送される信号光のチャネル数の変化が生じると、ALCにより光増幅器の出力が一定となるように光増幅器の利得が制御される、あるいは利得の最大値でクランプされるが、いずれにしろ1チャネルあたりの出力が変化してしまう。そこで、このような利得の制御をALC制御とした場合のチャネル数の変化を抑制するために、監視信号（以下、「SV信号」という。）によりチャネル数の情報を光増幅器に送り制御する構成がある。ところが、この方法によれば、チャネル数の変化と同期して制御がかからないため、チャネル変化直後のレベルは補償されないという問題がある。また、“Theory of Optical Amplifier Chains”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 5, May 1998では、ALCのみによる制御の光増幅器を多段中継した系において光増幅器の入力レベルが変化した場合の出力の過渡応答について述べられている。この論文では、利得制御をALCのみで制御した場合（但し、最大利得になるとクランプされる）について説明している

が、SV信号によるチャネル数情報に応じて出力を変化させるALC制御であっても、過渡応答の初期段階ではALCによる制御しか働かないため、同じ動作を示す。この論文によれば、出力の過渡応答の速度は、中継段数に比例して増すと記載されている。このため、光増幅器が多段中継された伝送系においてチャネル数変化が起こった場合には、図7に示すように、存続チャネルである波長 λ_1 のチャネルの伝送特性の劣化が顕著となる。また、AGCを用いて光増幅器の利得を制御した場合についても、チャネル数変化時に残存チャネルのレベルが変動することが、例えば“Experimental and Theoretical Analysis of Relaxation-Oscillations and Spectral Hole Burning Effects in All-Optical Gain-Clamped EDFA's for WDM Networks”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 4, April 1998に述べられている。上記のようなチャネル数変化時の存続チャネルのレベル変化を抑制する技術について、たとえば“Fast Link Control Protection For Surviving Channels in Multiwavelength Optical Networks”, in Proc. 22nd European Conf. Optic. Communication, ECOC'96, Oslo, Norway, 1996, postdeadline paper ThC. 3. 6に、各ノードの出力に伝送信号チャネルとは別の波長を用いた出力補償用チャネルを設けてノードからの出力を一定にするという構成が開示されている。図7は、先行文献の波長多重光伝送におけるチャネル数変化時の存続チャネルのレベル変化を抑制する波長多重光伝送装置の構成を示す図である。ノード61aからノード61bに向けて伝送される信号光のチャネル数に変化があっても、出力の一部を受光素子64でモニタし、その値が一定となるよう波長 λ_c のLDから補償用の出力をする。このため、光増幅器63に入力される光パワーは一定となり、他チャネルのオン、オフによらず存続チャネルのレベル変動は抑制される。図9は、先行文献の波長多重伝送における信号のスペクトルの一例を示す図である。伝送信号が全部で8チャネル($\lambda_1 \sim \lambda_8$)と、出力補償用のチャネルが1チャネル(λ_c)となっている。図9Aは、全8チャネルが動作している時のスペクトルであり出力補償用のチャネルは動作していない。図9Bは伝送信号が1チャネルのみ動作しているときのスペクトルを示しており、出力補償用のチャネル λ_c は全8チャネル動作時の出力となるよう、7チャネル分のパワーを出力している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の技術には次のような問題点がある。すなわち、まず第一に、光波ネットワークにおける伝送路において、チャネル数の変化時における存続チャネルのレベルの変動を補償するために、新たな波長帯域を用いて調整用の信号光を設けると光増幅器の限られた波長帯域がさらに制限されてしまう問題がある。

【0004】第二に、伝送路における存続チャネルのレベルの変動を補償するために、伝送チャネルとは別の波長の信号光を用いることとすると、各チャネルのレベルを安定化させるためのLDが必要ということになる。

【0005】本発明の波長多重光伝送用光増幅装置は、波長多重光伝送において、伝送チャネル数が変化しても、各チャネルのレベルは一定に保たれ、その過渡応答時においても連続して伝送をつづけるチャネルの信号光のレベル変動を来さないようにすることを目的としている。また、動作チャネルが0チャネルから1以上のチャネル数に変化した場合にも光サージが発生しないようにすることを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の波長多重光伝送用光増幅装置は、上述した問題点を解決するために、1の信号光または互いに異なる複数の波長の光が波長多重された信号光が入力される入力端子と、増幅用光ファイバと、励起光を出力する励起光源と、励起光を増幅用光ファイバに入力する光合波器とを基本構成として備え、信号光を光増幅して増幅信号光を出力する。上記構成において、本発明の光増幅装置はさらに、増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を増幅用光ファイバに出力側から逆方向に再入力させる増幅信号光再入力部と、増幅信号光の出力レベルと増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の分岐増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルがあらかじめ定められた値となるように分岐増幅信号光のレベルを制御する分岐増幅信号光レベル制御回路と、信号光の入力レベルと分岐増幅信号光の増幅用光ファイバへの再入力前の入力レベルとを検出して増幅用光ファイバ入力レベルを出力する増幅用光ファイバ入力パワー検出回路と、増幅信号光の出力レベルと増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の分岐増幅信号光の出力レベルを検出して増幅用光ファイバ出力レベルを出力する増幅用光ファイバ出力パワー検出回路と、増幅用光ファイバ入力レベルと増幅用光ファイバ出力レベルから利得があらかじめ定められた値に維持されるように制御する利得制御回路とを備えていることを特徴としている。上記得制御は、例えば励起光源への注入電流を制御することにより行われる。

【0007】増幅信号光再入力部は、増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、減衰量制御信号を受けて分岐増幅信号光の減衰量を

制御する可変減衰器と、可変減衰器を通過した分岐増幅信号光を反射させる反射器とにより構成される。あるいは、増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、減衰量制御信号を受けて分岐増幅信号光の反射率を制御して分岐増幅信号光を反射させる可変反射器とにより構成することもできるし、減衰量制御信号を受けて増幅信号光の一部を分岐する分岐比を設定して分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、分岐増幅信号光を反射させる反射器とにより構成することもできる。

【0008】さらに、増幅信号光再入力部は、増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を出力する第1の光分岐器と、減衰量制御信号を受けて分岐増幅信号光の一部が入力されこの分岐増幅信号光の減衰量を制御する可変減衰器と、増幅用光ファイバの出力側に配置され可変減衰器を通過した分岐増幅信号光を前記増幅用光ファイバに入力するとともに、前記増幅信号光を伝送路に出力する第1の光サーキュレータとにより構成することもできる。

20 【0009】分岐増幅信号光レベル制御回路には、増幅信号光の出力レベルと、増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の分岐増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルがあらかじめ定められた値となるように減衰量制御信号を送出する減衰量制御回路を含んでいることを特徴としている。

【0010】また、増幅用光ファイバ入力パワー検出部は、増幅用光ファイバの入力側に配置され信号光の一部を分岐する第2の光分岐器と、増幅用光ファイバの出力側と増幅信号光再入力手段との間に配置され増幅用光ファイバに向かって進行する分岐増幅信号光の一部を分岐する第3の光分岐器と、第2の光分岐器と第3の光分岐器でそれぞれ分岐された光を結合させる第1の光結合器とにより構成されている。なお、上記第3の光分岐器に代えて、増幅用光ファイバから出力された増幅信号光を伝送路に向けて出力するとともに増幅用光ファイバに向かって進行する分岐増幅信号光の一部を第1の光結合器に出力する第1の光サーキュレータを配置することもできる。

【0011】増幅用光ファイバ出力パワー検出部は、増幅用光ファイバの出力側に配置され、増幅信号光の一部を分岐する第4の光分岐器と、増幅用光ファイバの入力側に配置され増幅用光ファイバに再入力され光増幅された分岐増幅信号光の一部を分岐する第5の光分岐器と、第4の光分岐器と第5の光分岐器でそれぞれ分岐された光を結合させる第2の光結合器とにより構成されている。なお、第5の光分岐器に代えて、信号光を増幅用光ファイバに出力するとともに増幅用光ファイバから出力された分岐増幅信号光を第2の光結合器に出力する第2の光サーキュレータを配置することもできる。

50 【0012】本発明の波長多重光伝送用光増幅装置は、

上記構成において、増幅用光ファイバに入力される信号光のレベル、増幅用光ファイバから出力される増幅信号光のレベル、増幅用光ファイバに入力される前記分岐増幅信号光のレベル、増幅用光ファイバから出力される分岐増幅信号光のレベルをそれぞれ、 P_{in1} 、 P_{out1} 、 P_{in2} 、 P_{out2} としたときに、第2の光分岐器によって分岐される前記信号光のレベル P_{in1} 、第3の光分岐器によって分岐される分岐増幅信号光のレベル P_{in2} 、第4の光分岐器によって分岐される増幅信号光のレベル P_{out1} 、第5の光分岐器によって分岐される分岐増幅信号光のレベル P_{out2} がそれぞれ、

【0013】

【数2】

$$\begin{aligned} P_{in1} \cdot P_{in2} \cdot P_{out1} \cdot P_{out2} \\ = P_{in1mon} \cdot P_{in2mon} \cdot P_{out1mon} \cdot P_{out2mon} \end{aligned}$$

を満たすことを特徴としている。

【0014】また、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置は、上記構成において、さらに、増幅用光ファイバの前段に配置され信号光の進行方向にのみ光を通過させ逆方向に進行する光を阻止する第1の光アイソレータと、増幅用光ファイバ出力パワー検出手段の後段に配置され信号光の進行方向にのみ光を通過させ逆方向に進行する光を阻止する第2の光アイソレータとを備えていることを特徴としている。

【0015】第1の光合波器は、増幅用光ファイバの前段に配置して前方励起タイプとしても、増幅用光ファイバの後段に配置して後方励起タイプとしてもよい。あるいは、さらに、第2の励起光を出力する第2の励起光源を備え、双方向励起タイプとすることもできる。

【0016】また、本発明の光波ネットワーク装置は、互いに異なる波長の信号光を出力する複数の光送信器と、各信号光を波長多重して波長多重信号光を出力する波長多重化回路と、波長多重信号光から波長を選定して特定の信号光を抽出するとともに信号光挿入する光ADMとを備え、上記波長多重光伝送用光増幅装置を光増幅装置に適用していることを特徴としている。

【0017】

【発明の実施の形態】次に、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置について、図面を参照して詳細に説明する。

【0018】図1は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

【0019】本発明の光増幅装置は、まず基本構成として、増幅用光ファイバであるエルビウムドープ光ファイバ1（以下「EDF」という。）と励起光を出力する励起光源17と励起光を図中左方向から入力される信号光に合波する光合波器14とを備えている。また、伝送路中の反射点からの戻り光による雑音が発生するのを防止するために、光アイソレータ15、16が配置されている。なお、本実施例では、信号光に1.55 μ m波長帯の光が用いられており、励起光には波長1.48 μ mあ

るいは0.98 μ mの光が用いられていることから、増幅用光ファイバには上記の通りEDFが用いられているが、増幅用光ファイバはこれに限らず、光増幅される信号光の波長帯域等により種々の希土類元素が添加された光ファイバが選択され得る。本発明の光増幅装置は、上記基本構成に加えて、まずEDF1に入力される信号光の一部を分岐する光分岐器11a（第2の光分岐器）がEDF1の入力側に配置されている。一方、EDF1の出力側には、EDF1で光増幅され出力方向（図中右方向）に向かって進行する信号光（以下「増幅信号光」という。）の一部を分岐する光分岐器12a（第1の光分岐器）がEDF1の出力側に配置されている。また、そのさらに出力側には同様に増幅された信号光の一部を分岐する光分岐器13（第4の光分岐器）が配置されている。さらに、EDF1と光分岐器12aの間には入力方向（図中左方向）に向かって進行する光の一部を分岐する光分岐器11b（第3の光分岐器）が配置されている。なお、以下、光分岐器に代えて光方向性結合器を用いることもできることはいうまでもない。

【0020】ここで、光分岐器12aの分岐された側には、可変光減衰器が配置され、さらにその出力側には反射器9が配置されている。従って、光分岐器12aで分岐された増幅信号光は可変減衰器で光のレベルが制御された上でここを透過して反射器9に達し、反射される。反射された信号光は、再び光分岐器12aにより伝送路に逆方向に入力され、EDF1によりさらに光増幅され、入力側（図中左方向）に向けて出力される。再びEDF1の入力側に戻って、光アイソレータ15とEDF1の間には、信号光の進行とは逆向きに進行する光の一部を分岐する光分岐器12b（第5の光分岐器）が配置されており、ここで上述した反射器9で反射され再度光増幅された信号光の一部は分岐される。なお、光分岐器12bには、逆方向に進行する光を取出すのが目的であるので、図中左方向から入力された信号光をEDF1に出力し、EDF1から図中左方向に出力された再度増幅された信号光を図中した方向に出力する光サーキュレータ（第2の光サーキュレータ）を用いることもできる。

【0021】光分岐器11aで分岐され取り出された信号光はさらに分岐され、一方は光増幅器入力パワー検出回路19に、他方はモニタ光結合器11c（第1の光結合器）に入力される。光分岐器11bで分岐された反射された増幅信号光は、モニタ光結合器11cのもう一方から入力され、両者は光結合されてEDF入力パワー検出回路2に出力される。

【0022】光分岐器13および光分岐器12bでそれぞれ分岐された増幅信号光あるいは反射され再度増幅された信号光は、ともに光結合器12c（第2の光結合器）に入力され、ここで光結合されてEDF出力パワー検出回路4に出力される。光増幅器入力パワー検出回路19とEDF出力パワー検出回路4には可変減衰器制御

回路5が接続されており、両検出回路からの検出結果が出力される。上述した可変減衰器6は、この可変減衰器制御回路5からの制御信号を受けて、その減衰量が制御される。

【0023】EDF入力パワー2とEDF出力パワー検出回路4には、AGC（自動利得制御）回路3が接続されている。AGC回路は、EDF1に入力される信号光パワーとEDF1で光増幅され出力される増幅信号光のパワーを検出し、両者からEDF1における利得が一定になるように制御する。

【0024】次に、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の動作について、もう少し詳しく説明する。

【0025】図1において、光増幅装置22には、図中左方から単一波長からなる1チャンネルの信号光または互いに異なる複数の波長が波長多重された複数チャンネルの波長多重信号光が入力される（以下、これを「順方向」とする。）。入力された信号光（以下、波長多重信号光も含め「信号光」という。）は、まず光分岐器11aにより一部が分岐される。分岐された信号光はさらに分岐され、一方は光増幅器入力パワー検出回路19によりそのレベルが検出される。他方は、光結合器11cを介してEDF入力パワー検出回路2に入力される。なお、EDF1と直列にアイソレータ15、16が入っているため、逆方向への光出力は抑制され、励起光源17、および前段の光増幅器に影響を及ぼさない。

【0026】すでに説明したように、光分岐器11aを通過した本来の信号光は、光合波器14において励起光源17から出力された励起光と合波され、エルビウムドープ光ファイバ（以下、「EDF」という。）1に入射され光増幅されて出力される。

【0027】この増幅信号光の一部は光分岐器12aにより分岐され、可変減衰器6を通過して反射器9に達する。ここで反射された増幅信号光は、再びEDF1に逆方向から入力される（以下、これを「逆方向」とする。）。そして、逆方向から入力された増幅信号光は、さらにEDF1において光増幅され、前方（図中左方向）へ出力される。EDF1の前方へ逆方向に出力された再度増幅された信号光は、光分岐器（または光サーキュレータ）12bにより図中下方向へ出力される。

【0028】一方、光分岐器12aを通過した増幅信号光は、光分岐器13でさらに一部が分岐され、一方はそのまま光アイソレータ16を通過して、本来の信号光として伝送路へ出力される。他方は、モニタ光として光結合器12cに入力され、光分岐器12bから出力された再度増幅された信号光と結合され、EDF出力パワー検出回路4に入力され、出力レベルが検出される。

【0029】光分岐器12aから逆方向に出力された増幅信号光は、光分岐器11bで図中下方向に出力され、光結合器11aでEDF1に入力される前に分岐された信号光と結合され、EDF入力パワー検出回路2に入力

される。EDF1の順方向入力と逆方向入力の信号光の合計出力は、EDF入力パワー検出回路2でモニタされる。

【0030】また、EDF1の順方向出力と逆方向出力の増幅信号光の合計出力は、EDF出力パワー検出回路4でモニタされる。EDF1出力パワー検出回路によるモニタに基づいて、可変減衰器制御回路5は、EDF1の順方向と逆方向の増幅信号光の合計出力パワーが一定となるように、可変減衰器6の減衰量をALC（自動レベル制御）制御する。なお、本実施例では、反射器9の前に可変減衰器6を配置し、可変減衰器6の透過損失を制御することにより出力レベルの制御をなっているが、可変減衰器に代えて反射器に反射率を可変制御できるものを用い、反射率を制御することによって逆方向出力を制御してもよい。また、光分岐器12aの分岐比自体を変化させることによって再入力される増幅信号光のレベルを制御してもよい。

【0031】AGC回路3は、EDF入力パワー検出回路2、EDF出力パワー検出回路4のモニタ結果に基づいて、EDF1における光増幅の利得が一定となるように、励起光源17の出力を制御する。

【0032】上述した構成によれば、光増幅装置22から出力される増幅信号光は、EDF1の順方向出力、すなわち、光増幅装置22に入力された信号光があらかじめ設定された利得だけ増幅されたレベルに制御されたものとなる。これは、入力される信号光のチャンネル数が変化しても、各チャンネルごとのレベルに変化は生じないことになる。

【0033】また、入力される信号光のチャンネル数が、例えば前段にある光ADMにおける信号光挿入状態や新たな光送信器の立ち上げによって変化した場合の過渡応答時においても、ALC制御により可変減衰器6を制御して、常に利得制御の基準となる入力側のレベルが一定に維持されるので、存続チャンネルのレベル変化は発生しない。

【0034】さらに、動作チャンネルが0チャンネル、すなわち無信号光状態となった場合にでも、光増幅器入力パワー検出回路19は光増幅装置22へ入力される信号光のチャンネルが0であることを検出する。そして、この検出値にもとづき可変減衰器制御回路5は可変減衰器6の減衰量を最大となるよう制御するため、光伝送が再開され、信号光が光増幅装置22に改めて入力されたときにも光サージは発生しない。

【0035】本発明の光増幅装置による上述した効果について、以下にさらに詳しく説明する。

【0036】図1において、光増幅器22に入力された信号は、EDF1で増幅される。その一部が光分岐器12aで分岐され、可変減衰器6を通り、反射器9で反射され、再度可変減衰器6、光分岐器12aを経て、EDF1に逆方向から戻り、増幅される。すなわち、EDF

1には順方向の入力 P_{in1} に加え、逆方向からの入力 P_{in2} があり、それらをともに増幅し、順方向の出力 P_{out1} 、および逆方向の出力 P_{out2} とする。

【0037】EDF1の順方向入力 P_{in1} のモニタ値 P_{in1mon} （光分岐器11a→18→11cと経由）と逆方向入力 P_{in2} のモニタ値 P_{in2mon} （光分岐器12a→11b→11cと経由）の合計値は、EDF入力パワー検出回路2でモニタされる。また、同様にしてEDF1の順方向出力 P_{out1} のモニタ値 $P_{out1mon}$ （光分岐器13→12cと経由）と逆方向出力 P_{out2} のモニタ値 $P_{out2mon}$ （光分岐器12b→12cと経由）の合計値はEDF出力パワー検出回路4でモニタされる。

【0038】ここで、光分岐器11a、11b、11c、12b、12c、13、18の分岐比は、

【0039】

【数3】

$$\begin{aligned} P_{in1} : P_{in2} : P_{out1} : P_{out2} \\ = P_{in1mon} : P_{in2mon} : P_{out1mon} : P_{out2mon} \end{aligned} \quad (1)$$

を満足するように設定されている。また、光分岐器11b、12aの分岐比は、EDFの逆方向入力 P_{in2} に関係している。このため、動作チャネル1ch時に可変減衰器6の減衰量を最小とした場合において、EDF1への入力が、全チャネル動作時以上のパワーでなければならない。

【0040】AGC回路3は、EDF入力パワー検出回路2、EDF出力パワー検出回路4の検出結果、すなわちEDF1の順方向と逆方向の合計入力パワー、合計出力パワーに応じて、

【0041】

【数4】

$$P_{out1} + P_{out2} = A \times (P_{in1} + P_{in2}) \quad (2)$$

[A:利得]

という関係式を満たすように、励起光源17の出力を制御する。これにより、光増幅器22の利得はA一定となるように制御される。

【0042】また、可変減衰器制御回路5は、EDF出力パワー検出回路4の検出結果、すなわちEDF1の順方向と逆方向の合計出力パワーが、

【0043】

【数5】

$$P_{out1} + P_{out2} = P_a \quad (3)$$

[P_a :設定出力]

となるよう可変減衰器6の減衰量を制御する。このような制御により、伝送されるチャネル数に変化があっても、各チャネルのレベルは一定とすることができる。

【0044】次に、チャネル数が変化した時の過渡応答の状態について説明する。

【0045】上述したように、本発明の光増幅装置では、EDF1の利得のAGC制御と、順方向出力と逆方向出力を一定とするALC制御という二つの制御が行わ

れている。AGC制御は入力によらず、利得を一定とするように制御しているため、チャネル数変化時の過渡応答は、可変減衰器1を含むALC制御の応答速度により決まる。このため、ALCの応答速度はチャネル変化によるパワーの変動に応答できるようなものにする。このような構成とすることにより、チャネル数変化の過渡応答時における存続チャネルのレベルの変動が発生しない。

【0046】上記事項は、動作チャネル数が1以上の場合の動作について述べたものであるが、以下に動作チャネル数が0、あるいは、動作チャネル数が0から1以上になる場合の動作について説明する。

【0047】入力光を光分岐器11a、18で分岐してモニタしている光増幅器入力パワー検出回路19のモニタ値が、設定された入力パワー（動作チャネル数が1チャネル以下の出力）以下となると、可変減衰器制御回路5は可変減衰器6の減衰量を最大とする。このため、動作チャネルが0チャネルである場合の光増幅器22の動作はEDFのAGC制御のみによる制御となり、光増幅器の出力はノイズレベルとなる。

【0048】動作チャネルが0チャネルから、1以上のチャネル数に変化した場合には、光分岐11a、18を経て分岐された入力パワーが1チャネル以上のパワーとなるため、EDF1の利得のAGC制御に加え、ALCによる可変減衰器の制御が行われるようになる。この際の過渡応答では、EDF1の制御はAGC制御のみにより行われるため、動作チャネル数が0から1以上となった場合でもサージは発生しない。また、可変減衰器6の減衰量を制御するALCの応答速度は、前述の通りチャネル数変化に対して応答できるようにこのため、動作チャネルのレベル変動も抑制される。

【0049】本発明による光増幅器装置は、例えば図2に示されるような波長チャネル毎に伝送路に挿入、分岐する光ADM (Optical Add Drop Multiplexing) 機能を持つノード含む光波ネットワークにおいても、有効に機能する。例えば、図2に示される光波ネットワークにおいては、光ADM23には、複数の光中継装置が接続されており、通常は波長多重化された信号光が入出力される。いま、例えば、光送信器21が新たに起動した場合には、光ADM23を経てその右側に出力される信号光のチャネル数が1増加し、チャネル数が変化することになる。

【0050】このような場合であっても、本発明の光増幅装置によれば、波長多重化されているチャネル数が変化する場合、連続して伝送を続けるチャネル（以下、存続チャネル）の伝送特性が他のチャネルのオン、オフに影響を受けず、安定したレベルで伝送することを可能になる。また、本発明による光増幅器は、動作チャネル数が0チャネルから1チャネル以上となった場合にも、光サージの発生を防ぐことができるようになる。

【0051】次に、図1の動作について、図3のタイムチャートを用いて説明する。

【0052】図3は、一例として、全チャンネル4チャンネルの信号伝送時に、光増幅器に動作チャンネル数が4チャンネル($t < T1$)、1チャンネル($T1 < t < T2$)、0チャンネル($T2 < t < T3$)、1チャンネル($T3 < t < T4$)、4チャンネル($t > T4$)と変化した場合における各波長チャンネル毎のレベルの変化を示している。

【0053】図3A-1はEDF順方向入力 P_{in1} 、図3A-2はEDF逆方向入力 P_{in2} 、図3B-1はEDF順方向出力(光増幅器出力) P_{out1} 、図3B-2はEDF逆方向出力 P_{out2} 、図3B-3はEDF両方向出力($P_{out1} + P_{out2}$)を示している。

【0054】時刻 $t < T1$ においては、入力チャンネルは4チャンネルであるため、EDFの順方向入力 P_{in1} は4チャンネルとなる。このとき、EDFへの逆方向入力 P_{in2} は、順方向入力 P_{in2} の4チャンネル全てが動作しているため、可変減衰器のALC制御によりどのチャンネルも0となる。このときの光増幅器の出力(P_{out1})は、各入力信号チャンネルがAGC制御により設定された利得倍されたものとなる。

【0055】次に、時刻 $T1 < t < T2$ においては、入力 $\lambda 1$ の1チャンネルのみとなるので、EDFの順方向 P_{in1} の入力は1チャンネルのみとなる。このとき、EDFの逆方向出力 P_{out2} は、図3B-3のように順方向、逆方向の合計出力($P_{out1} + P_{out2}$)が一定となるよう可変減衰器によりALC制御されるため、逆方向入力 P_{in2} が増加する(図3A-2)。このときも、波長 $\lambda 1$ の入力信号チャンネルが利得倍されたものが光増幅装置の出力となる。

【0056】なお、時刻 $t = T1$ におけるチャンネル数の変動の過渡応答においては、可変減衰器の減衰量がALC制御されるため、存続チャンネルである波長チャンネル(波長: $\lambda 1$)の光増幅器の出力はレベルの変動がなく安定している。

【0057】時刻 $t = T2$ において、動作チャンネル数が0となると可変減衰器のALC制御が止まり減衰量は最大となり、EDFのAGC制御のみがはたらくようになる。時刻 $T2 < t < T3$ においては、EDFのAGC制御のみが行われるため、光増幅器出力(P_{out1})はノイズレベルとなる。時刻 $t = T3$ において、動作チャンネル数が0から1チャンネルに変化すると、再び可変減衰器のALC制御が始まる。この際、EDFの利得制御はAGC制御により行われているため、サージの発生はない。また、起動したチャンネルのレベル変動も可変減衰器のALC制御により抑制される。

【0058】時刻 $t = T4$ においても、時刻 $t = T1$ の動作と同様、レベルの変動は発生しない。また、時刻 $t > T4$ でも、時刻 $t < T1$ の動作と同様、EDFの順方向入力 P_{in1} が4チャンネルであるため、 P_{in2} 逆方向入

力はされず、各チャンネルのレベルは一定に保たれる。

【0059】次に、本発明の光増幅装置の第2の実施例について、図面を参照して説明する。

【0060】図4は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第2の実施例の構成を示すブロック図である。

【0061】励起光源17が光分岐器12cと光分岐器13の間にある光合波器14から入力される構成となっており、光増幅装置22は後方励起の配置となっている点に特徴がある。励起光がEDF1の後方から入射される点を除いては、図1に示される構成と同じで、同様の効果を得ることができる。なお、光合波器14は、これに代えて、光分岐器13で分岐された増幅信号光をモニタ光として光結合器12cへ導入し、励起光源17から出力された励起光を光分岐器13の方へ向けて出力するのであれば、光サーキュレータを用いることもできる。また、このようにせず、光分岐器13の前段あるいは後段に光合波器を配置し、ここから逆方向に励起光を入射するようにしてもよい。

【0062】図5は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第3の実施例の構成を示すブロック図である。本実施例では、光増幅装置は、EDFの前方、後方の双方から励起光が入射される双方向励起の配置になっている点に特徴がある。本実施例においても、図4に示されるのと同様、光合波器14bに代えて光サーキュレータ(第3の光サーキュレータ)を用いてもよい。また、光分岐器13の前段あるいは後段に光合波器を配置し、ここから逆方向に励起光を入射するようにしてもよい。図6は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第4の実施例の構成を示すブロック図である。本実施例では、図1における反射器9に代えて、光サーキュレータ7を用いて、EDF1へ逆方向に増幅された信号光の一部を入射するようにしている点に特徴がある。すなわち、光分岐器12aを通過した増幅信号光は、光サーキュレータ7を通過してそのまま光アイソレータを通過して光伝送路へ出力される。一方、光分岐器12aで分岐された増幅信号光の一部はさらに光分岐器8で一部が分岐される。この分岐された増幅信号光は、可変減衰器6により、すでに説明したのと同様にALC回路5から送出される制御信号を受けて減衰量が制御され、光サーキュレータ7(第1の光サーキュレータ)を経てEDF1に逆方向に再入力される。本実施例においても、第2、第3の実施例と同様、光増幅装置は後方励起であっても双方向励起であってもよい。なお、本実施例では、反射器を用いない構成例を示しているが、図6に示される構成に限られるものではない。例えば、光分岐器12aから分岐された増幅信号光を光分岐器8によりさらに分岐する構成を示したが、光分岐器12aの後段または前段に光分岐器8を配置してもよい。また、光サーキュレータ7も光分岐器12aの後段ではなく前段に配置してもよい。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置は、入力チャネル数に変化があっても、増幅された信号光の一部をEDFに逆方向から入力するという構成を採用し、EDFの合計出力が一定となるように可変減衰器をALC制御し、またEDFにはAGC制御をしているので、波長多重光伝送において、伝送チャネル数が変化しても、各チャネルのレベルは一定に保たれる。さらに、その過渡応答時においても連続して伝送をつづけるチャネルの信号光のレベル変動を来さないという効果もある。

【0064】チャネル数変化時のレベルの補償をするのに、増幅された信号光の一部をEDFに逆方向から入力するという構成を採用しているため、本来の光伝送に必要なチャネル以外の波長を用いる必要がないので、増幅可能な波長帯域を全て光伝送用チャネルにあてることができるという利点もある。また、存続チャネルのレベルの変動を補償するために、新たな光源を必要としない。光合波器、光分波器、ファイバグレーティング等の波長選択性がある部品が不要ということも利点としてあげられる。

【0065】さらに、EDFの利得制御はAGC制御により行われているため、動作チャネルが0チャネルから1以上のチャネル数に変化した場合にも光サージが発生しないという効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】図2は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置を光ADMをノードにもつ波長多重光伝送装置に適用した一例を示す構成図である。

【図3】図3は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置を全チャネル数4チャネルの信号光を伝送している場合に、動作チャネル数が4チャネル($t < T1$)、1チャネル($T1 < t < T2$)、0チャネル($T2 < t < T3$)、1チャネル($T3 < t < T4$)、4チャネル($t > T4$)に変化したときの各波長チャネル毎のレベルの変化を示した図であって、図3A-1はEDF順方向入力 P_{in1} 、図3A-2はEDF逆方向入力 P_{in2} 、図3B-1はEDF順方向出力(光増幅器出力) P_{out1} 、図3B-2はEDF逆方向出力 P_{out2} 、図3B-3はEDF両方向出力($P_{out1} + P_{out2}$)をそれぞれ示している。

【図4】図4は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第2の実施例の構成を示すブロック図である。

【図5】図5は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第3の実施例の構成を示すブロック図である。

【図6】図6は、本発明の波長多重光伝送用光増幅装置の第4の実施例の構成を示すブロック図である。

【図7】図7は、光増幅器が多段中継された伝送系においてチャネル数に変化が生じた場合の存続チャネルである波長 λ_1 のチャネルの伝送特性の劣化の様子を示す図

であり、(A)は入力信号のレベルを、(B)は光増幅器多段中継後の出力信号のレベル変化の様子を示している。

【図8】図7は、従来の波長多重光伝送装置の構成の一例を示す構成図である。

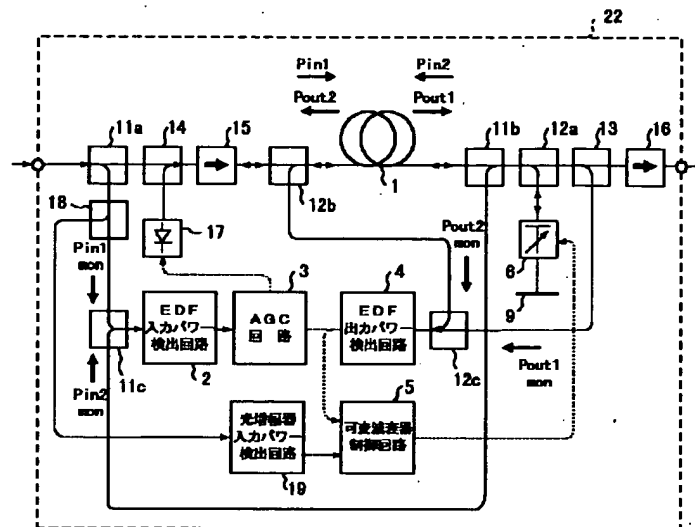
【図9】図8は、従来の波長多重光伝送装置における信号光のスペクトルの一例を示す図であって、(A)は伝送される信号光全8チャネル($\lambda_1 \sim \lambda_8$)が動作し出力補償用チャネル(λ_c)が動作していない状態、

(B)は伝送される信号光は1チャネルのみで出力補償用のチャネル(λ_c)が動作している状態をそれぞれ示している。

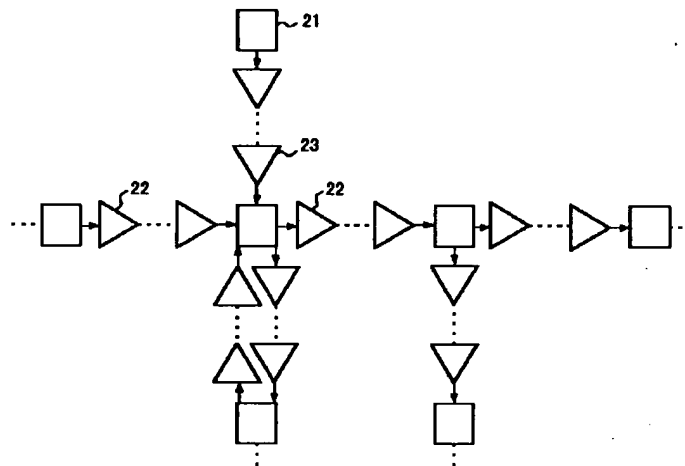
【符号の説明】

- 1 EDF (エルビウムドープ光ファイバ)
- 2 EDF入力パワー検出回路
- 3 AGC (自動利得制御) 回路
- 4 EDF出力パワー検出回路
- 5 可変減衰器制御回路
- 6 可変減衰器
- 20 光サーキュレータ (第1の光サーキュレータ)
- 光分岐器
- 9 反射器
- 11a 光分岐器 (第2の光分岐器)
- 11b 光分岐器 (第3の光分岐器)
- 11c 光結合器 (第1の光結合器)
- 12a 光分岐器 (第1の光分岐器)
- 12b 光分岐器 (第5の光分岐器) (または光サーキュレータ: 第2の光サーキュレータ)
- 12c 光結合器 (第2の光結合器)
- 30 13 光分岐器 (第4の光分岐器)
- 光合波器
- 14a 光分波器
- 14b 光分岐器 (または光サーキュレータ: 第3の光サーキュレータ)
- 15 光アイソレータ
- 16 光アイソレータ
- 17 励起光源
- 18 光分岐器
- 19 光増幅器入力パワー検出回路
- 40 21 光送信器
- 22 光増幅装置
- 23 光ADMノード
- 61a, 61b ノード
- 62a 光合波器
- 62b 光分波器
- 63 光増幅器
- 62c 光分波器
- 64 受光素子
- 65 レーザダイオード (LD)
- 50 66 制御回路

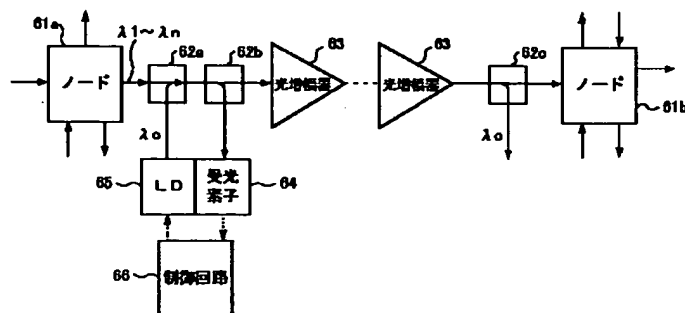
【図1】



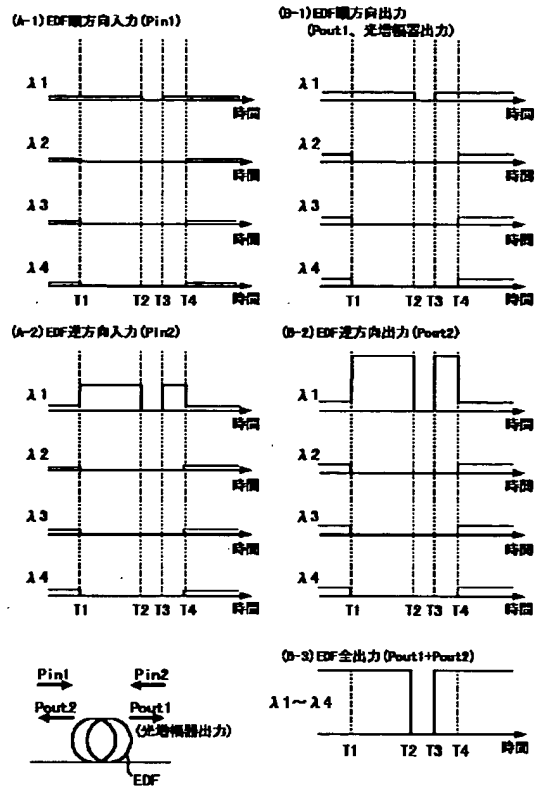
【図2】



【図8】

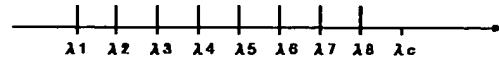


【図3】

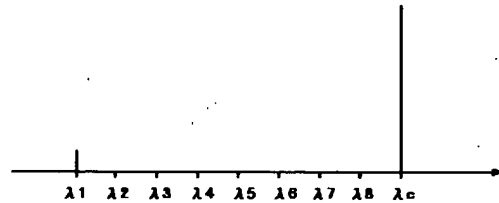


【図9】

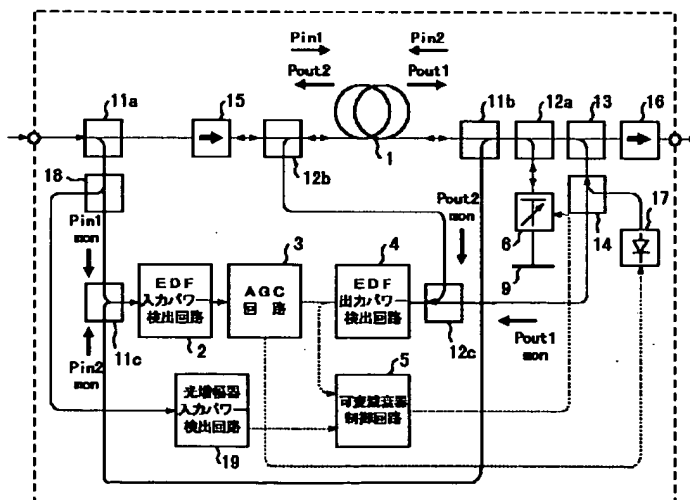
(A) 8チャンネル動作時 (全8チャンネル)



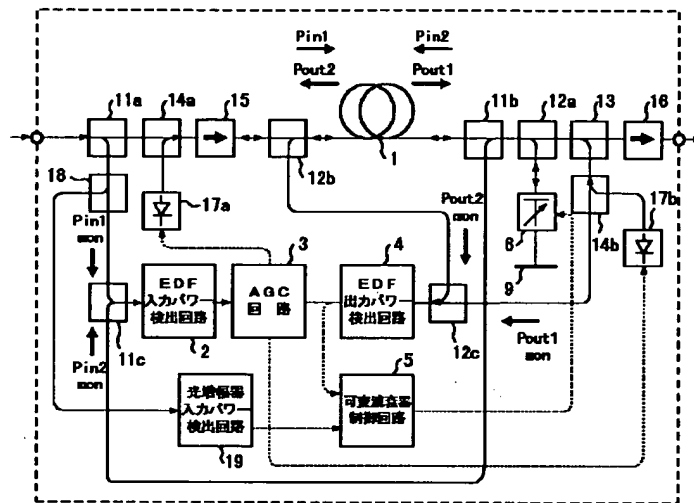
(B) 1チャンネル動作時 (全8チャンネル)



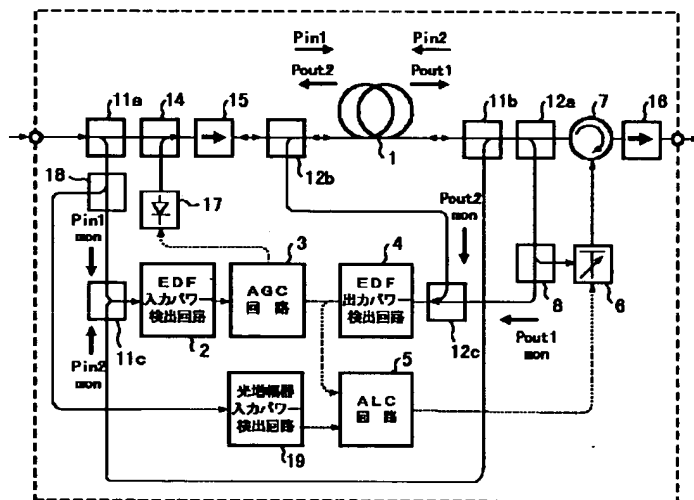
【図4】



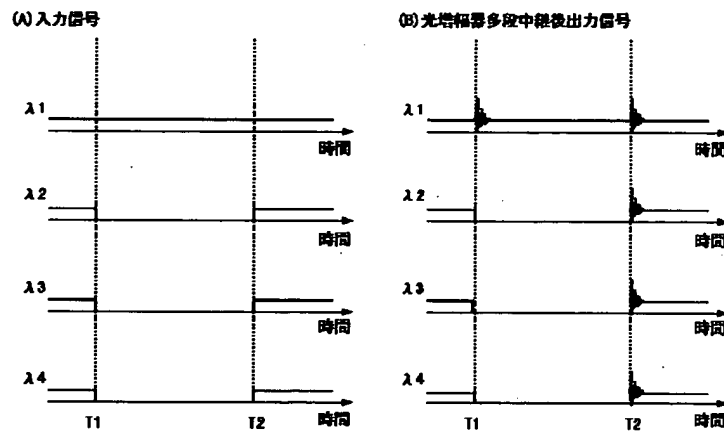
【図5】



【図6】



【図7】



【手続補正書】

【提出日】平成11年8月25日（1999. 8. 25）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】 1の信号光または互いに異なる波長の複数の光が波長多重された信号光が入力される入力端子と、増幅用光ファイバと、励起光を出力する励起光源と、前記励起光を前記増幅用光ファイバに入力する光合波器とを備え、前記信号光を光増幅して増幅信号光を出力する波長多重光伝送用光増幅装置であって、さらに、前記増幅信号光の一部を分岐して分岐増幅信号光を前記増幅用光ファイバに出力側から逆方向に再入力させる増幅信号光再入力手段と、前記増幅信号光の出力レベルと、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の前記分岐増幅信号光の出力レベルの合計出力レベルがあらかじめ定められた値となるように前記分岐増幅信号光のレベルを制御する分岐増幅信号光レベル制御手段と、前記信号光の入力レベルと、前記分岐増幅信号光の前記増幅用光ファイバへの再入力前の入力レベルとを検出して増幅用光ファイバ入力レベルを出力する増幅用光ファイバ入力パワー検出手段と、前記増幅信号光の出力レベルと、前記増幅用光ファイバに再入力され光増幅された後の前記分岐増幅信号光の出力レベルを検出して増幅用光ファイバ出力レベルを出力する増幅用光ファイバ出力パワー検出手段と、前記増幅用光ファイバ入力レベルと前記増幅用光ファイ

バ出力レベルから利得があらかじめ定められた値に維持されるように制御する利得制御手段とを備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光増幅装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、互いに異なる波長の複数の信号光が波長多重化された波長多重信号光を光増幅する光増幅装置に関する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】波長多重光伝送は、伝送容量の大容量化としてのみならず、各波長をチャネルとして扱い、波長チャネル毎に伝送路に挿入したり、伝送路から分岐できる光ADM (Add Drop Multiplexer) を用いることにより、波長チャネル毎にルートの設定の切替えが可能な光波ネットワークの構築にも適している。しかしながら、このような光波ネットワークにおいては、各ノードにおいて、波長チャネルが挿入、分岐されたり、あるいは信号を伝送している光送信器の数が変化することから、伝送路中の信号光のチャネル数が変化することが起こり得る。このように、伝送路中の信号光のチャネル数が変化すると、連続して伝送され続けるチャネル（以下、「存続チャネル」という。）のレベル

が変動を来し、この結果、伝送特性が劣化する、あるいはサージが発生するという問題点が生じる。また、チャネル数の変化による伝送特性の劣化は、波長多重する波長数、すなわち信号光の数が増えるほど顕著になるため、今後の波長多重光伝送において多チャネル化がますます進展すると、上記問題はさらに深刻なものとなる。ここで、上記の光波ネットワークにおける問題点の発生するプロセスについて簡単に説明する。まず、一般的に、光増幅器の基本的な制御方法として、ALC (Automatic Level Control) により光増幅器の励起光源出力を制御して出力を一定とする方法とAGC (Automatic Gain Control) により励起光源出力を制御して利得を一定とする構成とがある。まず最初に、ALCを用いて光増幅器の利得を制御した場合について説明すると、伝送される信号光のチャネル数の変化が生じると、ALCにより光増幅器の出力が一定となるように光増幅器の利得が制御される、あるいは利得の最大値でクランプされるが、いずれにしても1チャネルあたりの出力が変化してしまう。そこで、このような利得の制御をALC制御とした場合のチャネル数の変化を抑制するために、監視信号(以下、「SV信号」という。)によりチャネル数の情報を光増幅器に送り制御する構成がある。ところが、この方法によれば、チャネル数の変化と同期して制御がかからないため、チャネル変化直後のレベルは補償されないという問題がある。また、“Theory of Optical Amplifier Chains”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 5, May 1998では、ALCのみによる制御の光増幅器を多段中継した系において光増幅器の入力レベルが変化した場合の出力の過渡応答について述べられている。この論文では、利得制御をALCのみで制御した場合(但し、最大利得になるとクランプされる)について説明しているが、SV信号によるチャネル数情報に応じて出力を変化させるALC制御であっても、過渡応答の初期段階ではALCによる制御しか働かないため、同じ動作を示す。この論文によれば、出力の過渡応答の速度は、中継段数に比例して増すと記載されている。このため、光増幅器が多段中継された伝送系においてチャネル数変化が起こった場合には、図7に示すように、存続チャネルである波長 λ_1 のチャネルの伝送特性の劣化が顕著となる。また、AGCを用いて光増幅器の利得を制御した場合についても、チャネル数変化時に残存チャネルのレベルが変動することが、例えば“Experimental and Theoretical Analysis of Relaxation-Oscillations and Spectral Hole Burning Effects in All-Optical Gain-Clamped EDFA's for

WDM Networks”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 4, April 1998に述べられている。上記のようなチャネル数変化時の存続チャネルのレベル変化を抑制する技術について、例えば“Fast Link Control Protection For Surviving Channels in Multiwavelength Optical Networks”, in Proc. 22nd European Conf. Optic. Communication, ECOC'96, Oslo, Norway, 1996, postdeadline paper ThC. 3. 6に、各ノードの出力に伝送信号チャネルとは別の波長を用いた出力補償用チャネルを設けてノードからの出力を一定にするという構成が開示されている。図8は、先行文献の波長多重光伝送におけるチャネル数変化時の存続チャネルのレベル変化を抑制する波長多重光伝送装置の構成を示す図である。ノード61aからノード61bに向けて伝送される信号光のチャネル数に変化があっても、出力の一部を受光素子64でモニタし、その値が一定となるよう波長 λ_c のLDから補償用の出力をする。このため、光増幅器63に入力される光パワーは一定となり、他チャネルのオン、オフによらず存続チャネルのレベル変動は抑制される。図9は、先行文献の波長多重伝送における信号のスペクトルの一例を示す図である。伝送信号が全部で8チャネル($\lambda_1 \sim \lambda_8$)と、出力補償用のチャネルが1チャネル(λ_c)となっている。図9Aは、全8チャネルが動作している時のスペクトルであり出力補償用のチャネルは動作していない。図9Bは伝送信号が1チャネルのみ動作しているときのスペクトルを示しており、出力補償用のチャネル λ_c は全8チャネル動作時の出力となるよう、7チャネル分のパワーを出力している。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】図1において、光増幅装置22には、図中左方から単一波長からなる1チャネルの信号光または互いに異なる波長の複数の光が波長多重された複数チャネルの波長多重信号光が入力される(以下、これを「順方向」とする。)。入力された信号光(以下、波長多重信号光も含め「信号光」という。)は、まず光分岐器11aにより一部が分岐される。分岐された信号光はさらに分岐され、一方は光増幅器入力パワー検出回路19によりそのレベルが検出される。他方は、光結合器11cを介してEDF入力パワー検出回路2に入力される。なお、EDF1と直列にアイソレータ15、16が入って

いるため、逆方向への光出力は抑制され、励起光源1
7、および前段の光増幅器に影響を及ぼさない。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図8

【補正方法】変更

【補正内容】

【図8】図8は、従来の波長多重光伝送装置の構成の一
例を示す構成図である。

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

ターマコード(参考

)

H04B 10/16